

МЕТОДИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНА

В. О. Компанієць, кандидат економічних наук;

О. І. Желязков, кандидат сільськогосподарських наук;

А. О. Кулик

Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Описаний алгоритм визначення витрат сукупної енергії на виробництво зерна. Проаналізовані сучасні методики розрахунку показників енергетичної ефективності. Наведені нормативні розрахунки енергетичних та матеріально-грошових витрат на вирощування пшениці озимої. Визначені основні напрямки економії енергоресурсів у зерновиробництві.

Ключові слова: *сукупні енергетичні витрати, показники енергетичної ефективності, пшениця озима, попередники, урожайність, нормативні матеріально-грошові витрати, енергоємність, коефіцієнт енергетичної ефективності.*

Економічна та політична ситуація в Україні останнім часом викликала істотне загострення проблеми посилення економії енерговитрат в усіх без винятку галузях економіки.

Техніко-технологічний розвиток аграрного сектору країни, який передусім має здійснюватися на інтенсивній основі, неодмінно передбачає посилення ресурсо- та енергонасиченості технологій. У рослинництві перш за все – це збільшення вкладень високоякісних матеріально-технічних та грошових ресурсів в розрахунку на одиницю посівної площі. З огляду на це для порівняльної оцінки альтернативних технологій за рівнем енергонасиченості спиратися лише на економічні показники недостатньо. Тому для визначення резервів енергозбереження, зокрема у зерновиробництві, особливо актуальним є енергетичний аналіз.

Сільське господарство споживає енергію як з поновлюваних, так і непоновлюваних джерел. До прямих слід віднести витрати енергії палива, електроенергії тощо, до непрямих – витрати енергії на створення машин, добрив, хімікатів та інших матеріалів, які задіяні у виробничому процесі [1, 2]. Оцінити ступінь ефективності використання енергії для підтримання технологічних процесів у рослинництві можливо на основі визначення всіх енерговитрат, необхідних для виробництва конкретного виду продукції, та обсягу енергії, накопиченої в урожаї.

Розробкою методик енергетичної оцінки технологій та вивченням проблеми енергозбереження у сільськогосподарському виробництві займалися такі вчені, як С. С. Бакай, Н. С. Балаур, Є. І. Базаров, Є. В. Глінка, О. О. Жученко, П. І. Іваненко, М. О. Клименко, Т. М. Колесник, О. К. Медведовський [2], В. І. Перебийніс [7], О. Ф. Смаглий [8], Ю. О. Тараріко та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Наукові пошуки тривають і нині, оскільки проблема максимально ефективного використання енергії з непоновлюваних та поновлюваних джерел за умови економії матеріалізованої енергії й прямих витрат живої праці у сільському господарстві та рослинництві зокрема є надзвичайно актуальною.

Мета роботи – провести огляд методик енергетичної оцінки технологічних процесів у зерновиробництві, що є основою для подальшого визначення напрямків економії енергоресурсів та підвищення економіко-енергетичної ефективності галузі.

Як свідчать наукові дані [1–9], існує багато підходів визначення показників ефективності використання енергії при вирощуванні зернових культур.

Основою для розрахунку нормативних (планових) сукупних енергетичних витрат є технологічні карти. За ними встановлюють повний перелік робіт, а потім на підставі нормативних енергетичних еквівалентів розраховують витрати сукупної енергії за такими основними групами: машини і устаткування (основні засоби), авіація, насіння, добрива, пальне і мастила, електроенергія, засоби захисту рослин, жива праця тощо.

Найбільш складною частиною розрахунків є обчислення витрат сукупної енергії, які пов'язані із застосуванням техніки. З цією метою за технологічною картою визначають час

використання кожного виду сільськогосподарських машин і знарядь, який перемножують на масу машини та відповідний еквівалент сукупної енергії за 1 год експлуатаційного часу в розрахунку на 1 кг маси.

Розрахунок нормативних затрат сукупної енергії за іншими статтями, які пов'язані з використанням ряду оборотних засобів виробництва (насіння, добрива, паливо та ін.), здійснюють шляхом множення кількості витраченого на 1 га ресурсу, тобто норми висіву насіння, внесення добрив, витрати ПММ та електроенергії в розрахунку на гектар посівної площі тощо на відповідний енергетичний еквівалент.

Затрати сукупної енергії на трудові ресурси обчислюють як добуток відпрацьованого в розрахунку на 1 га часу основними й допоміжними категоріями працівників та енергетичного еквіваленту 1 люд-год відповідної категорії працівників. Загальні витрати сукупної енергії на 1 га визначають, виходячи з суми всіх перелічених статей.

Вміст валової енергії в одержаній з 1 га господарсько-цінній частині продукції розраховують множенням показника врожайності за стандартного рівня вологості, перерахованого на суху речовину за відповідним коефіцієнтом, на показник вмісту валової енергії в 1 кг сухої речовини відповідного виду продукції.

Показники витрат сукупної енергії в розрахунку на одиницю площі та вмісту валової енергії в продукції, отриманій з гектара посіву, застосовують для обчислення рівня біоенергетичної ефективності. Найбільш поширеним у науковій літературі є коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який визначають наступним чином:

$$K_{ee} = \frac{E_y}{E_a} , \quad (1)$$

де E_y – енергія, акумульована в урожаї, МДж/га. E_a – витрати антропогенної (непоновлюваної) енергії на вирощування і збирання врожаю, МДж/га.

Отже, за умови $K_{ee} > 1$ технологію вирощування можна вважати ефективною, оскільки вихід валової енергії перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію.

Враховуючи те, що агроєкосистеми є відкритими термодинамічними системами, функціонування яких тісно пов'язане з потоком сонячної фотосинтетично активної радіації (ФАР), було запропоновано визначити ще один показник енергетичної ефективності K_{ee}^* [6, 9], який відображає рівень продуктивності сільськогосподарського виробництва в розрахунку на одиницю сукупного енергетичного ресурсу агроєкосистеми:

$$K_{ee}^* = \frac{E_y}{E_r + Q_{ФАР} + E_a} , \quad (2)$$

де E_r – запас енергії в ґрунті, МДж/га. $Q_{ФАР}$ – сумарна ФАР за період вегетації, МДж/га.

Проміжним варіантом в оцінці господарсько-екологічної ефективності технологій і заходів сільськогосподарського виробництва є визначення біологічного коефіцієнта використання енергії:

$$\eta = \frac{E_y}{Q_{ФАР} + E_a} . \quad (3)$$

Цей показник свідчить про те, яка частка затрат сумарної антропогенної енергії та енергії ФАР акумулюється і перетворюється агроєкосистемою на сільськогосподарську продукцію [6].

Важливим кроком в оцінці енергетичної ефективності функціонування агроєкосистеми є коефіцієнт енерговіддачі агроєкосистеми – K_{ee}^{**} [8], який розраховують за залежністю:

$$K_{ee}^{**} = \frac{E_y}{E_a + E'_a}, \quad (4)$$

де E'_a – витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту та підтримання його енергопотенціалу, МДж/га.

Для порівняльної оцінки ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур в різних ґрунтово-кліматичних умовах М. О. Клименко та Т. М. Колесник [6] рекомендують застосовувати коефіцієнт біологічної акумуляції природної енергії агроєкосистеми:

$$K_{ee}^{PE} = \frac{E_y + E'_a}{E_z + Q_{\Phi Ap}}. \quad (5)$$

В чисельнику показано величину енергії, яка акумулюється в агроєкосистемі (менша частина енергії зосереджується в органічній речовині ґрунту, а більша – в продукції рослинництва). У знаменнику відображено величину сукупної природної енергії, яку використовує агроєкосистема для свого функціонування. У різних ґрунтово-кліматичних зонах ця величина буде суттєво відрізнятися.

Щоб оцінити ефективність впровадження певної агротехнології чи агрозаходу при вирощуванні деяких сільськогосподарських культур, необхідно додатково залучати коефіцієнт біологічної акумуляції антропогенної енергії агроєкосистеми, який слід розраховувати за наступною формулою:

$$K_{ee}^{AE} = \frac{E_y + E'_a}{E_a}. \quad (6)$$

Величина K_{ee}^{AE} вказує на ефективність використання одиниці антропогенної енергії агроєкосистемою. Якщо $K_{ee}^{AE} > 1$, то технологія вважається екологічно і енергетично ефектив-

1. Нормативні витрати енергії на вирощування пшениці озимої після різних попередників в розрахунку на 1 га та їхня структура залежно від рівня врожайності

Статті витрат	Одиниця виміру	Чистий пар			Зайнятий пар, зернобобові культури			Непарові попередники		
		врожайність, ц/га								
		40	50	65	30	40	50	25	35	40
Основні засоби	МДж	3701,8	4348,2	5255,4	2700,7	3289,4	3937,6	2367,6	3102,8	3401,3
	%	21,1	22,4	24,5	17,3	18,5	19,6	15,7	17,3	17,9
Жива праця	МДж	811,9	966,0	1194,1	579,8	730,5	885,5	506,2	650,4	725,3
	%	4,6	5,0	5,6	3,7	4,1	4,4	3,4	3,6	3,8
Паливно-мастильні матеріали	МДж	3972,9	4383,8	4948,1	2386,5	2750,1	3164,1	2260,1	2700,0	2877,4
	%	22,7	22,6	23,1	15,3	15,5	15,8	15,0	15,0	15,1
Насіння	МДж	3290,4	3290,4	3290,4	3619,4	3619,4	3619,4	3783,9	3783,9	3783,9
	%	18,8	17,0	15,4	23,2	20,3	18,1	25,1	21,1	19,9
Мінеральні добрива	МДж	5381,0	6024,0	6337,5	5919,5	7018,0	8053,5	5815,0	7326,0	7864,5
	%	30,7	31,1	29,6	38,0	39,5	40,2	38,5	40,8	41,3
Засоби захисту рослин	МДж	328,4	328,4	328,4	334,2	334,2	334,2	337,1	337,1	337,1
	%	1,9	1,7	1,5	2,1	1,9	1,7	2,2	1,9	1,8
Електроенергія	МДж	45,7	56,9	73,7	34,6	45,8	57,0	29,0	40,2	45,8
	%	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Всього	МДж	17532,0	19397,7	21427,5	15574,6	17787,4	20051,3	15098,9	17940,4	19035,4
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

МЕТОДИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНА

В. О. Компанієць, кандидат економічних наук;

О. І. Желязков, кандидат сільськогосподарських наук;

А. О. Кулик

Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Описаний алгоритм визначення витрат сукупної енергії на виробництво зерна. Проаналізовані сучасні методики розрахунку показників енергетичної ефективності. Наведені нормативні розрахунки енергетичних та матеріально-грошових витрат на вирощування пшениці озимої. Визначені основні напрямки економії енергоресурсів у зерновиробництві.

Ключові слова: *сукупні енергетичні витрати, показники енергетичної ефективності, пшениця озима, попередники, урожайність, нормативні матеріально-грошові витрати, енергоємність, коефіцієнт енергетичної ефективності.*

Економічна та політична ситуація в Україні останнім часом викликала істотне загострення проблеми посилення економії енерговитрат в усіх без винятку галузях економіки.

Техніко-технологічний розвиток аграрного сектору країни, який передусім має здійснюватися на інтенсивній основі, неодмінно передбачає посилення ресурсо- та енергонасиченості технологій. У рослинництві перш за все – це збільшення вкладень високоякісних матеріально-технічних та грошових ресурсів в розрахунку на одиницю посівної площі. З огляду на це для порівняльної оцінки альтернативних технологій за рівнем енергонасиченості спиратися лише на економічні показники недостатньо. Тому для визначення резервів енергозбереження, зокрема у зерновиробництві, особливо актуальним є енергетичний аналіз.

Сільське господарство споживає енергію як з поновлюваних, так і непоновлюваних джерел. До прямих слід віднести витрати енергії палива, електроенергії тощо, до непрямих – витрати енергії на створення машин, добрив, хімікатів та інших матеріалів, які задіяні у виробничому процесі [1, 2]. Оцінити ступінь ефективності використання енергії для підтримання технологічних процесів у рослинництві можливо на основі визначення всіх енерговитрат, необхідних для виробництва конкретного виду продукції, та обсягу енергії, накопиченої в урожаї.

Розробкою методик енергетичної оцінки технологій та вивченням проблеми енергозбереження у сільськогосподарському виробництві займалися такі вчені, як С. С. Бакай, Н. С. Балаур, Є. І. Базаров, Є. В. Глінка, О. О. Жученко, П. І. Іваненко, М. О. Клименко, Т. М. Колесник, О. К. Медведовський [2], В. І. Перебийніс [7], О. Ф. Смаглій [8], Ю. О. Тараріко та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Наукові пошуки тривають і нині, оскільки проблема максимально ефективного використання енергії з непоновлюваних та поновлюваних джерел за умови економії матеріалізованої енергії й прямих витрат живої праці у сільському господарстві та рослинництві зокрема є надзвичайно актуальною.

Мета роботи – провести огляд методик енергетичної оцінки технологічних процесів у зерновиробництві, що є основою для подальшого визначення напрямків економії енергоресурсів та підвищення економіко-енергетичної ефективності галузі.

Як свідчать наукові дані [1–9], існує багато підходів визначення показників ефективності використання енергії при вирощуванні зернових культур.

Основою для розрахунку нормативних (планових) сукупних енергетичних витрат є технологічні карти. За ними встановлюють повний перелік робіт, а потім на підставі нормативних енергетичних еквівалентів розраховують витрати сукупної енергії за такими основними групами: машини і устаткування (основні засоби), авіація, насіння, добрива, пальне і мастила, електроенергія, засоби захисту рослин, жива праця тощо.

Найбільш складною частиною розрахунків є обчислення витрат сукупної енергії, які пов'язані із застосуванням техніки. З цією метою за технологічною картою визначають час використання кожного виду сільськогосподарських машин і знарядь, який перемножують на масу машини та відповідний еквівалент сукупної енергії за 1 год експлуатаційного часу в розрахунку на 1 кг маси.

Розрахунок нормативних затрат сукупної енергії за іншими статтями, які пов'язані з використанням ряду оборотних засобів виробництва (насіння, добрива, паливе та ін.), здійснюють шляхом множення кількості витраченого на 1 га ресурсу, тобто норми висіву насіння, внесення добрив, витрати ПММ та електроенергії в розрахунку на гектар посівної площі тощо на відповідний енергетичний еквівалент.

Затрати сукупної енергії на трудові ресурси обчислюють як добуток відпрацьованого в розрахунку на 1 га часу основними й допоміжними категоріями працівників та енергетичного еквіваленту 1 люд-год відповідної категорії працівників. Загальні витрати сукупної енергії на 1 га визначають, виходячи з суми всіх перелічених статей.

Вміст валової енергії в одержаній з 1 га господарсько-цінній частині продукції розраховують множенням показника врожайності за стандартного рівня вологості, перерахованого на суху речовину за відповідним коефіцієнтом, на показник вмісту валової енергії в 1 кг сухої речовини відповідного виду продукції.

Показники витрат сукупної енергії в розрахунку на одиницю площі та вмісту валової енергії в продукції, отриманій з гектара посіву, застосовують для обчислення рівня біоенергетичної ефективності. Найбільш поширеним у науковій літературі є коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який визначають наступним чином:

$$K_{ee} = \frac{E_y}{E_a} , \quad (1)$$

де E_y – енергія, акумульована в урожаї, МДж/га. E_a – витрати антропогенної (непоновлюваної) енергії на вирощування і збирання врожаю, МДж/га.

Отже, за умови $K_{ee} > 1$ технологію вирощування можна вважати ефективною, оскільки вихід валової енергії перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію.

Враховуючи те, що агроєкосистеми є відкритими термодинамічними системами, функціонування яких тісно пов'язане з потоком сонячної фотосинтетично активної радіації (ФАР), було запропоновано визначити ще один показник енергетичної ефективності K_{ee}^* [6, 9], який відображає рівень продуктивності сільськогосподарського виробництва в розрахунку на одиницю сукупного енергетичного ресурсу агроєкосистеми:

$$K_{ee}^* = \frac{E_y}{E_r + Q_{ФАР} + E_a} , \quad (2)$$

де E_r – запас енергії в ґрунті, МДж/га. $Q_{ФАР}$ – сумарна ФАР за період вегетації, МДж/га.

Проміжним варіантом в оцінці господарсько-екологічної ефективності технологій і заходів сільськогосподарського виробництва є визначення біологічного коефіцієнта використання енергії:

$$\eta = \frac{E_y}{Q_{ФАР} + E_a} . \quad (3)$$

Цей показник свідчить про те, яка частка затрат сумарної антропогенної енергії та енергії ФАР акумулюється і перетворюється агроєкосистемою на сільськогосподарську продукцію [6].

Важливим кроком в оцінці енергетичної ефективності функціонування агроєкосистеми є коефіцієнт енерговіддачі агроєкосистеми – K_{ee}^{**} [8], який розраховують за залежністю:

$$K_{ee}^{**} = \frac{E_y}{E_a + E'_a}, \quad (4)$$

де E'_a – витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту та підтримання його енергопотенціалу, МДж/га.

Для порівняльної оцінки ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур в різних ґрунтово-кліматичних умовах М. О. Клименко та Т. М. Колесник [6] рекомендують застосовувати коефіцієнт біологічної акумуляції природної енергії агроєкосистеми:

$$K_{ee}^{PE} = \frac{E_y + E'_a}{E_z + Q_{\phi Ap}}. \quad (5)$$

В чисельнику показано величину енергії, яка акумулюється в агроєкосистемі (менша частина енергії зосереджується в органічній речовині ґрунту, а більша – в продукції рослинництва). У знаменнику відображено величину сукупної природної енергії, яку використовує агроєкосистема для свого функціонування. У різних ґрунтово-кліматичних зонах ця величина буде суттєво відрізнятися.

Щоб оцінити ефективність впровадження певної агротехнології чи агрозаходу при вирощуванні деяких сільськогосподарських культур, необхідно додатково залучати коефіцієнт біологічної акумуляції антропогенної енергії агроєкосистеми, який слід розраховувати за наступною формулою:

$$K_{ee}^{AE} = \frac{E_y + E'_a}{E_a}. \quad (6)$$

Величина K_{ee}^{AE} вказує на ефективність використання одиниці антропогенної енергії агроєкосистемою. Якщо $K_{ee}^{AE} > 1$, то технологія вважається екологічно і енергетично ефектив-

1. Нормативні витрати енергії на вирощування пшениці озимої після різних попередників в розрахунку на 1 га та їхня структура залежно від рівня врожайності

Статті витрат	Одиниця виміру	Чистий пар			Зайнятий пар, зернобобові культури			Непарові попередники		
		врожайність, ц/га								
		40	50	65	30	40	50	25	35	40
Основні засоби	МДж	3701,8	4348,2	5255,4	2700,7	3289,4	3937,6	2367,6	3102,8	3401,3
	%	21,1	22,4	24,5	17,3	18,5	19,6	15,7	17,3	17,9
Жива праця	МДж	811,9	966,0	1194,1	579,8	730,5	885,5	506,2	650,4	725,3
	%	4,6	5,0	5,6	3,7	4,1	4,4	3,4	3,6	3,8
Паливно-мастильні матеріали	МДж	3972,9	4383,8	4948,1	2386,5	2750,1	3164,1	2260,1	2700,0	2877,4
	%	22,7	22,6	23,1	15,3	15,5	15,8	15,0	15,0	15,1
Насіння	МДж	3290,4	3290,4	3290,4	3619,4	3619,4	3619,4	3783,9	3783,9	3783,9
	%	18,8	17,0	15,4	23,2	20,3	18,1	25,1	21,1	19,9
Мінеральні добрива	МДж	5381,0	6024,0	6337,5	5919,5	7018,0	8053,5	5815,0	7326,0	7864,5
	%	30,7	31,1	29,6	38,0	39,5	40,2	38,5	40,8	41,3
Засоби захисту рослин	МДж	328,4	328,4	328,4	334,2	334,2	334,2	337,1	337,1	337,1
	%	1,9	1,7	1,5	2,1	1,9	1,7	2,2	1,9	1,8
Електроенергія	МДж	45,7	56,9	73,7	34,6	45,8	57,0	29,0	40,2	45,8
	%	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Всього	МДж	17532,0	19397,7	21427,5	15574,6	17787,4	20051,3	15098,9	17940,4	19035,4
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

